Standard Operating Procedure

SOP-RDWC-CAN-N1:
pH- & Nährstoff- Stabilisierung

Unternehmen / Betrieb: SKX-RDWC
Abteilung: Hydroponik / Cannabisproduktion
Kontakt: skx@hotmail.de / https://www.instagram.com/skx.rdwc/

Vertraulichkeit: Nur für interne Nutzung – nicht ohne Genehmigung weitergeben.

Revision No.	Extent of Revision	Date of Revision	Issued by	Approved by:
0	Initial Release	07.11.2025	SKX-RDWC	SKX-RDWC

Einführung

Zweck der SOP

Diese Standard Operating Procedure (SOP) beschreibt ein standardisiertes, reproduzierbares Verfahren zur Herstellung und Stabilisierung der Nährlösung im RDWC-System.
Sie stellt sicher, dass die pH-Werte und die Mischreihenfolge konstant eingehalten werden, um chemische Reaktionen und Fällungen zu vermeiden und eine gleichmäßige Nährstoffverfügbarkeit für alle Pflanzen zu gewährleisten.

Geltungsbereich

Diese SOP gilt für alle Deep Water Culture Systeme, deren Wurzeln direkten Kontakt mit der Nährlösung haben. Sie wird angewendet bei der Neuanmischung, Add-backs oder Korrektur der Nährlösung im Hauptreservoir sowie bei Zwischen- oder Wasserwechseln während des laufenden Betriebs.

Zielrisiken

Diese Arbeitsanweisung dient der Vermeidung von chemischen und physikalischen Instabilitäten in der Nährlösung.

Folgende Risiken sollen durch die Einhaltung der SOP ausgeschlossen oder minimiert werden:

- **Ausfällungen durch falsche Mischreihenfolge (z. B. Bildung von Calciumsulfat oder Silikat Ausfällungen)**
- **pH-Drift durch unzureichende Pufferung oder unsachgemäße Dosierung**
- **Ungleichmäßige Nährstoffverteilung im System**
- **Schwankungen des EC-Wertes durch fehlerhafte Konzentrationen**
- **Einschränkung der Nährstoffaufnahme durch instabile pH-Werte**

Erfolgsvoraussetzungen

Die Wirksamkeit dieser SOP zur Herstellung und Stabilisierung der Nährlösung im RDWC-System hängt entscheidend von der Einhaltung der vorgeschriebenen Mischreihenfolge, korrekten Dosierungen sowie der konsequenten Kontrolle von Wassertemperaturen, pH- und EC-Werten ab. Nur durch lückenlose Umsetzung aller beschriebenen Maßnahmen kann chemische Instabilität, Ausfällungen oder ungleichmäßige Nährstoffverteilung vermieden und die gleichmäßige Versorgung aller Pflanzen gewährleistet werden.

Abweichungen oder Probleme während der Durchführung sind Schritt für Schritt zu überprüfen und gegebenenfalls die Maßnahmen erneut umzusetzen. Sollten Unsicherheiten auftreten, die über diese SOP hinausgehen, ist fachkundige Unterstützung, beispielsweise durch einen erfahrenen Hydroponik-Experten, hinzuzuziehen, um Schäden am System oder den Pflanzen zu vermeiden.

Einschränkungen und nicht abgedeckte Risiken

Diese SOP deckt ausschließlich die pH-Stabilisierung und das korrekte Anmischen der Nährlösung ab. Sie ersetzt keine detaillierte Nährstoffstrategie oder Kulturführung.

Nicht abgedeckt sind:

1. **Fehlerhafte Ausgangswasserqualität**
   - Nutzung von reinem Leitungswasser oder Weichwasser (Leitungswasser + Osmosewasser=0,2mS EC)
   - Stark schwankender EC, pH, Härte oder andere Verunreinigungen im Wasser
   - → Die SOP kann nur mit geeignetem Ausgangswasser (Osmose-,Destilliertes, Voll Entsalztes-Wasser) arbeiten; Abweichungen müssen vorher korrigiert werden.

2. **Biologische Kontaminationen in der Nährlösung**
   - Pathogene, Bakterien oder Pilze, die nicht durch pH-Stabilisierung oder Mischreihenfolge beseitigt werden
   - → Siehe SOP-RDWC-CAN-H1; nur mikrobiologische Tests oder geeignete Hygienemaßnahmen liefern Gewissheit.

3. **Nicht kompatible oder verunreinigte Zusatzstoffe**
   - Chemische Reaktionen durch Fremdstoffe oder organische Zusätze
   - → SOP schützt nicht vor Ausfällungen oder Instabilitäten, wenn andere Stoffe hinzugefügt werden.

4. **Organische Vollnährlösungen oder biologische Zusätze mit mikrobieller Aktivität**
   - Mikroorganismen in biologischen Zusätzen können die Stabilität der Nährlösung verändern.
   - → Nur Labortests oder sorgfältige Beobachtung können die Effekte abschätzen.

5. **Mechanische oder elektrische Ausfälle von Systemkomponenten**
   - Z. B. Pumpen, Sensoren, Ventile, Luftsteine/Schläuche, Venturi-Düsen können ausfallen.
   - → SOP reguliert nur die chemische Vorbereitung; technische Störungen sind separat zu prüfen.

6. **Extreme Umwelteinflüsse im Reservoir**
   - Hohe Umgebungsteturen oder Sauerstoffmangel.
   - → SOP kann Stabilität nur unter normalen Betriebsbedingungen gewährleisten.

7. **Langzeitlagerung oder Wiederverwendung der Nährlösung**
   - Nährlösung über mehrere Wasserwechsel oder Wochen lagern.
   - → SOP fokussiert auf kurzfristige Stabilität; Langzeiteffekte werden nicht berücksichtigt.

8. **Reservoir-Design oder Strömungsverhalten**
   - Ungleichmäßige Nährstoffverteilung durch Form, Volumen oder Pumpenplatzierung.
   - → Nur durch korrektes Systemdesign kann Homogenität garantiert werden.

9. **Abweichungen von der vorgesehenen Rezeptur**
   - Falsche Konzentrationen oder alte abgestandene, kontaminierte Nähr- und Zusatzstoffe
   - → Diese SOP kann chemische Reaktionen oder Fällungen nicht kompensieren.

10. **Kapazität und Leistung der Belüftungssysteme**
    - Unzureichende Sauerstoffversorgung der Wurzeln.
    - → SOP regelt nur die chemische Seite; Belüftung und Sauerstoff müssen separat überwacht werden.

Verantwortlichkeiten

Der Betreiber trägt die volle Verantwortung für die ordnungsgemäße Ausführung dieser SOP sowie für etwaige Schäden, die durch unsachgemäße Anwendung, Abweichung von den Vorgaben oder Vernachlässigung der Sicherheitsvorkehrungen entstehen. Die Ersteller dieser SOP übernehmen keine Haftung für Ergebnisse oder Folgen, die aus der Nutzung dieser Anleitung resultieren.

Erforderliche Materialien

1. Reservoir & Behälter

- Hauptreservoir für die Nährlösung (sauber, frei von Ablagerungen und Rückständen)
- Eimer oder Zwischentanks für Dosierung oder Korrektur der Nährlösung

2. Mess- und Kontrollgerät

- pH-Meter, kalibriert
- EC-Meter (Leitfähigkeit)
- ORP-Meter (optional, für Redox-Kontrolle)
- DO-Meter
- Thermometer zur Überwachung der Wassertemperatur

3. Dosier- und Mischwerkzeuge

- Messbecher, Spritzen oder Dosierpumpen
- Rührwerk oder Umwälzpumpe für gleichmäßige Mischung

4. Chemikalien / Nährstoffe

- Düngemittel gemäß Rezeptur (z. B. Kalzium, Magnesium, Basismischung, Silikat)
- pH-Pufferlösungen oder pH-Korrekturmittel (z. B. H_2SO_4, KOH)
- Optional: HOCl oder andere Desinfektionsmittel zur Reinigung vor Anmischung

5. Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

- Handschuhe
- Schutzbrille
- Laborkittel oder wasserfeste Kleidung

6. Dokumentation / SOP-Protokoll

- Protokollbogen für pH, EC, Mischreihenfolge und Wasserwechsel
- Schreibmaterial oder digitale Erfassung

Sicherheitsvorkehrungen

- Schutzkleidung tragen
- Handschuhe verwenden
- Schutzbrille tragen (optional)
- Gut belüfteten Bereich nutzen
- Chemikalien vorsichtig lagern
- Dämpfe nicht einatmen
- Kinder fernhalten

Hinweise zur Entsorgung

- Verbrauchte Lösungen: H_2O_2- und HOCL-Reste mit Wasser verdünnen und im Abfluss entsorgen.
- Verpackungen: Leere Chemikalienbehälter recyceln, wenn möglich.
- Handschuhe: Gebrauchte Einmalhandschuhe im Hausmüll entsorgen.

Chemische Grundlagen im RDWC-System

pH und Nährstofflöslichkeit

In Deep Water Culture (DWC) bzw. Recirculating Deep Water Culture (RDWC) Systemen stehen die Pflanzenwurzeln in dauerhaftem Kontakt mit der Nährstofflösung (NSL). Dadurch wirkt jede Veränderung des pH-Werts unmittelbar auf die Nährstoffaufnahme, die Ionenverfügbarkeit und den physiologischen Zustand der Wurzeln.

Der pH-Wert reguliert die chemische Form vieler Nährstoffe in der Lösung und bestimmt, ob sie für die Pflanzenwurzeln aufnehmbar bleiben. In einem RDWC-System ist der optimale pH-Bereich typischerweise **5,8 – 6,2**, da in diesem Bereich die Löslichkeit und Ionisierung der meisten Haupt- und Spurennährstoffe im Gleichgewicht liegt.

Bei einem **zu niedrigen pH-Wert (< 5,5)** kann es zur übermäßigen Verfügbarkeit von Metallen wie Mangan (Mn), Eisen (Fe) und Aluminium (Al) kommen, was zu toxischen Anreicherungen führen kann. Gleichzeitig werden essenzielle Elemente wie Calcium (Ca) und Magnesium (Mg) zunehmend schwer löslich und können an Oberflächen der Wurzeln oder Systemkomponenten ausfallen.

Ein **zu hoher pH-Wert (> 6,3)** verringert hingegen die Löslichkeit von Phosphor (P), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn) und Kupfer (Cu). Diese Nährstoffe gehen dann teilweise unlösliche Verbindungen ein (z. B. Eisenphosphate oder Manganoxide), wodurch ihre Aufnahme blockiert wird. Die Folge sind oft typische Mangelerscheinungen, obwohl die Nährstoffe in der Lösung messbar vorhanden sind.
Im RDWC ist diese pH-Dynamik besonders kritisch, da keine Substratpufferung existiert.

Jede chemische Reaktion findet direkt im Wasser statt, und Schwankungen entstehen sehr schnell durch:

- **Wurzelatmung und CO_2-Abgabe**, die Kohlensäure bilden und den pH senken können,
- **Nährstoffaufnahme**, da Pflanzen selektiv Ionen verbrauchen und so das Ionenverhältnis verändern,
- **Oxidationsprozesse und mikrobiologische Aktivität**, die den Redox-Zustand und damit das Säure-Basen-Gleichgewicht beeinflussen,
- **Eintrag oder Verdunstung von Wasser**, was die Ionenstärke verändert.

Um stabile Bedingungen zu gewährleisten, muss der pH-Wert im RDWC daher eng überwacht und aktiv reguliert werden. Eine pH-Kontrolle im Bereich **5,8 – 6,2** gewährleistet:

- maximale Nährstofflöslichkeit
- minimale Ausfällung
- stabile Ionenbalance in der Nährstofflösung
- und eine konstante Aufnahmefähigkeit der Wurzeln

Diese Kontrolle bildet die Grundlage für alle nachfolgenden Schritte im Verfahren, da ein korrekt eingestellter pH-Wert nicht nur über die chemische Stabilität der NSL entscheidet, sondern auch über die Effizienz sämtlicher Maßnahmen zur Desinfektion, Wurzelpflege und Nährstoffversorgung.

pH-Regulierungsmittel im RDWC-System

Ein stabiler pH-Wert ist entscheidend für die Nährstoffaufnahme im RDWC-System. Da Nährstoffe pH-abhängig verfügbar sind, muss der Wert im optimalen Arbeitsbereich von **pH 5,8–6,2** gehalten werden. In diesem Bereich sind Makro- und Mikronährstoffe ideal löslich, und die Wurzeln können effizient arbeiten.

1. pH-Senkung (Acid Down)

Zur Senkung des pH-Wertes werden Säuren verwendet, die je nach Zusammensetzung unterschiedliche Eigenschaften besitzen:

Salpetersäure (HNO_3)

- **Einsatzzeitraum:** hauptsächlich in der **Wachstumsphase**.
- **Vorteil:** liefert zusätzlich **Nitratstickstoff (NO_3^-)**, der pflanzenverfügbar ist.

Phosphorsäure (H_3PO_4)

- **Einsatzzeitraum:** bevorzugt in der **Blütephase**.
- **Vorteil:** erhöht leicht den **Phosphorgehalt (P)**, fördert Blütenbildung.

Schwefelsäure (H_2SO_4)

- **Einsatzzeitraum:** optional zur dauerhaften pH-Stabilisierung.
- **Vorteil:** liefert **Sulfat-Schwefel (SO_4^{2-})**, fördert Enzymaktivität.

2. pH-Erhöhung (pH Up / Base)

Zur Erhöhung des pH-Werts werden alkalische Lösungen eingesetzt.

Kaliumhydroxid (KOH)

- **Standardmittel für pH-Up**.
- **Vorteil:** liefert **Kalium (K)**, das pflanzenverfügbar bleibt.

3. Anwendungshinweise

- **Säuren und Basen niemals direkt miteinander mischen → Explosionsgefahr!**
- **Schutzausrüstung (Brille, Handschuhe)** ist Pflicht.
- Säuren **immer zur Nährlösung geben**, nie umgekehrt.
- pH-Wert nach jeder Korrektur **mindestens 5-10 Minuten stabilisieren lassen**, bevor nachgemessen wird.

4. Praxis-Tipp

Ein zu starker Fokus auf einen fixen pH-Wert (z. B. 6,0) kann kontraproduktiv sein.
Besser: den pH **natürlich schwanken lassen** zwischen **5,8–6,2**, um alle Nährstoffe optimal abwechselnd verfügbar zu halten.

Automatische pH-Regulierung im RDWC-System

Die pH-Regulierung ist einer der sensibelsten Prozesse im RDWC-System, da der pH-Wert direkt beeinflusst, in welchem Verhältnis Nährstoffe aufgenommen oder blockiert werden. Viele Grower setzen deshalb auf automatische pH-Regulierpumpen (pH-Up/pH-Down-Systeme), um konstante Werte zu halten. Doch gerade in hydroponischen Systemen mit aktiver Wurzelbiologie kann eine **zu enge oder zu häufige pH-Korrektur** mehr Schaden anrichten als Nutzen bringen.

Funktionsweise einer pH-Regulierpumpe

Eine pH-Regulierpumpe überwacht den aktuellen pH-Wert der Nährlösung über eine Sonde und dosiert automatisch Säure (z. B. Phosphorsäure, Salpetersäure) oder Base (z. B. Kaliumhydroxid), um den Zielwert konstant zu halten.

Problematik bei automatischer Regelung

Ein ständiges Nachregeln des pH-Werts kann folgende **Fehlwirkungen** auslösen:

- ⚠ **Ionische Instabilität:** Durch ständiges Zudosieren von Säure oder Base kann sich das Verhältnis der Ionen in der Lösung verschieben, was zu Ausfällungen und chemischem Ungleichgewicht führt.
- ⚠ **Stress für die Wurzeln:** Häufige pH-Korrekturen im Sekunden- oder Minutenrhythmus verhindern die natürliche pH-Regulierung in der Rhizosphäre.
- ⚠ **Übersteuerungseffekte:** pH-Regler reagieren oft träge, wird zu spät nachgeregelt, kippt der Wert in die Gegenrichtung („pH-Schaukel“).
- ⚠ **Beschädigung von Messsonden:** Permanente Säure- oder Laugenexposition führt zu Korrosion und Fehlmessungen.

Empfohlene Vorgehensweise

Statt einer starren Regelung sollte der pH-Regelbereich **intelligent begrenzt** werden, um dem System natürliche Schwankungen zu erlauben.

Empfohlene Einstellung:

- **Zielwert:** 6, 0pH
- **Toleranzbereich:** ±0,2 (also Regelintervall zwischen **5,8 – 6,2**)
- **Korrekturintervall:** nur alle 2–4 Stunden prüfen, nicht permanent
- **Regelverhalten:** langsame Dosierung mit kleinen Mengen (max. 0,1 ml/L pro Korrekturvorgang)

So kann der pH-Wert **atmen**, ohne dass die Nährstoffverfügbarkeit oder das Wurzelmilieu gestört werden.

Praktische Hinweise

- **pH-Sonde regelmäßig kalibrieren** (mindestens 1× pro Woche).
- **Sonden nie dauerhaft in konzentrierten Säuren oder Basen lagern.**
- **Automatische Systeme nie direkt an die Nährstoffleitung anschließen**, stattdessen im Zirkulationsabschnitt mit starker Durchmischung einsetzen.

Einfluss der Wasserqualität auf Nährstoffstabilität

Wasserqualität und Hygiene

Die **Wasserqualität** spielt eine entscheidende Rolle für die Hygiene des RDWC-Systems. Auch wenn entmineralisiertes Wasser einen **EC-Wert von 0,0 mS** aufweist, können dennoch **Bakterien, Viren oder Pilzsporen** im Wasser vorhanden sein. Leitungswasser enthält zusätzlich natürliche Mikroorganismen, die beim direkten Kontakt mit den Wurzeln pathogene Infektionen auslösen können.

Die Verwendung von **entmineralisiertem Wasser** reduziert dieses Risiko deutlich, liefert jedoch keine absolute Sterilität. Um die Einschleppung und Vermehrung pathogener Keime zu minimieren, sollten zusätzlich **Desinfektionsmaßnahmen** wie HOCl, UV-C Klärer, oder regelmäßige Reinigung von Tanks, Schläuchen und Pumpen eingesetzt werden.

Durch diese Maßnahmen wird die **Wurzelgesundheit gestärkt**, das Risiko von Infektionen reduziert und die langfristige Stabilität des Systems sichergestellt.

Leitungswasser/Weichwasser

Die Ausgangsqualität des Wassers hat einen entscheidenden Einfluss auf die chemische Stabilität der Nährlösung im RDWC-System.

Leitungswasser enthält üblicherweise variable Mengen an:

- Calcium (Ca^{2+})
- Magnesium (Mg^{2+})
- Natrium (Na^{+})
- Chlorid (Cl^{-})
- Schwermetalle
- Weitere gelöste Feststoffe

Diese Bestandteile stehen oft **nicht in optimalem Verhältnis** zueinander, bestimmen die Wasserhärte und den natürlichen Puffer und führen bei Schwankungen in **Härte, pH-Wert oder elektrischer Leitfähigkeit (EC)** zu:

- Beeinträchtigter Löslichkeit von Nährstoffen
- Unerwarteten chemischen Reaktionen, z. B. Ausfällungen von **Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)** oder **Calciumphosphat ($Ca_3(PO_4)_2$)**

Für **High-End RDWC-Systeme** ist Weichwasser nur eingeschränkt geeignet, da:

- Die variable Zusammensetzung eine **exakte Steuerung der Nährlösung erschwert**
- Das Risiko von **Ausfällungen** steigt
- **pH- und EC-Schwankungen** begünstigt werden

Zusätzlich enthält Leitungswasser **gelöstes CO_2**, das nach der Zugabe teilweise ausgast. Dieses Ausgasen kann den pH-Wert nachträglich verändern und in Kombination mit variabler Wasserhärte das EC/pH-Verhältnis weiter instabil machen.

Osmose-, Destilliertes-, VE- & Weichwasser

Diese vier Wasserarten dienen im RDWC als Grundlage für eine präzise und kontrollierbare Nährstofflösung, unterscheiden sich jedoch in ihrer Aufbereitung und chemischen Beschaffenheit:

- **Osmosewasser (RO-Wasser):**
  Wird durch Umkehrosmose gewonnen, bei der das Wasser unter Druck durch eine semipermeable Membran gepresst wird. Dabei werden bis zu 98–99 % der gelösten Salze, Metalle und organischen Stoffe entfernt. RO-Wasser variiert je nach Hersteller zwischen **0,00–0,1 mS/cm** und eignet sich ideal für RDWC-Systeme, da es **eine stabile, berechenbare Basis** für Nährstoffmischungen bietet.

- **Destilliertes Wasser:**
  Entsteht durch Verdampfen und anschließende Kondensation. Es ist nahezu frei von Mineralien, hat aber meist noch leichte Rückstände durch Kondensat-Kontakt oder Luftaufnahme. Der Leitwert liegt typischerweise bei **0,0–0,02 mS/cm** und eignet sich ideal für eine präzise Nähstoffmischung.

- **VE-Wasser (Vollentsalztes Wasser):**
  Wird durch Ionenaustauschverfahren hergestellt, bei dem Kationen (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}) und Anionen (Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}) gegen H^{+}- und OH^{-}-Ionen ausgetauscht werden. Das Ergebnis ist nahezu reines H_2O mit einem Leitwert um **0,0 mS/cm**. Es bietet die höchste chemische Reinheit und eignet sich besonders für präzise Dosierungssysteme oder den Einsatz in Kombination mit stark reaktiven Silikat-Lösungen.

- **Weichwasser:**
  Weichwasser entsteht entweder durch Teilentsalzung oder durch Mischung von Leitungswasser mit Osmosewasser. Durch den geringen Mineralgehalt reagiert es sensibler auf pH-Schwankungen und kann CalMag-Defizite verursachen, wenn keine gezielte Aufhärtung erfolgt. Für RDWC-Systeme ist daher wichtig, den Ca- und Mg-Gehalt kontrolliert mit CalMag-Produkten anzupassen, bevor andere Nährstoffe oder Silikate zugegeben werden.
  Achtung: Bei der Verwendung von Weichwasser, CalMag zuerst, und Silikate zuletzt beimischen.

Praxisvorteile im RDWC:

- Bessere Kontrolle über pH und EC
- Höhere chemische Stabilität der Nährlösung
- Reproduzierbare Ergebnisse zwischen einzelnen Runs

Leitungswasser

Osmose-, Destilliertes-, VE-Wasser

Einfluss von Temperatur und Sauerstoff auf pH und Nährstofflöslichkeit

Die Wassertemperatur und der gelöste Sauerstoff (O_2) gehören zu den zentralen Steuergrößen im RDWC-System. Beide Parameter wirken direkt auf die chemische Stabilität der Nährlösung, die pH-Balance und die physiologische Aktivität der Wurzeln.

Für High-End RDWC-Systeme ist es entscheidend, Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt präzise zu steuern:

Wassertemperatur:

Die Temperatur der Nährlösung wirkt sich unmittelbar auf Löslichkeit, Reaktionsgeschwindigkeit und biologische Aktivität aus:

- Mit steigender Temperatur nimmt die Löslichkeit vieler Salze zwar zu, jedoch können empfindliche Verbindungen, insbesondere Calcium- und Phosphatkomplexe, oberhalb bestimmter Schwellen ausfallen.
- **Höhere Temperaturen > 21–22 °C** verringert die Sauerstoffsättigung und beschleunigen chemische und mikrobiologische Prozesse, welches zu verstärkten pH-Drifts führt.
- **Zu niedrige Temperaturen < 18 °C** hemmen die Nährstoffaufnahme, insbesondere von Mikronährstoffen wie Eisen, Mangan oder Zink, und können das Wurzelwachstum verlangsamen.
- **Optimale Wassertemperatur: 19–20 °C**
  Dieser Bereich bietet das beste Gleichgewicht zwischen Sauerstoffsättigung, Nährstoffverfügbarkeit und mikrobiologischer Stabilität.

Sauerstoffversorgung:

Gelöster Sauerstoff ist essenziell für Wurzelatmung, Nährstoffaufnahme und pH-Stabilität. Eine ausreichende Sättigung verhindert anaerobe Zonen, in denen sich pathogene Mikroorganismen und Fäulnisprozesse entwickeln können.

- **100% Sauerstoffsättigung:** 8-9 mg/l bei 20°C / 9-10 mg/l mit der Verwendung von $HOCL/H^2O^2$
- **Optimaler gelöster O_2-Gehalt:** ≥ 7 mg/l
- **Empfohlene Luftzufuhr:**
  - **Mindestens:** 0,5 L Luft/L NSL pro Minute
  - **Maximal bis**: 1,0 L Luft/L NSL pro Minute

Eine gleichmäßige Sauerstoffzufuhr durch feinblasige Luftsteine/-schläuche hält die Sättigung stabil und erhöht die Durchmischung und Homogenität der Nährlösung, was pH-Drifts und lokale Ausfällungen minimiert.

Risiken bei zu hoher Luftzufuhr:

- Überschüssiger gelöster Sauerstoff, der über die physikalische Sättigung hinausgeht, entweicht kontinuierlich aus der Lösung, meist sichtbar als kleine Bläschen an der Wasseroberfläche oder entlang der Netztöpfe.
- Diese Luft wiederrum, staut sich im oberen Bereich der Netztöpfe, wodurch die Wurzeln oberhalb der NSL teilweise austrocknen und gestresst werden.

Erhöhte Sauerstoffaufnahme durch HOCL oder H_2O_2

Die Zugabe von HOCl oder H_2O_2 erhöht die effektive Sauerstoffaufnahmefähigkeit der Nährlösung im RDWC-System. Durch ihre oxidierende Wirkung werden anaerobe Mikrobereiche reduziert und die Wurzeln effizienter mit Sauerstoff versorgt. Dies unterstützt die Nährstoffaufnahme, stabilisiert die chemische Umgebung und reduziert die Belastung der Pflanzen durch Stressfaktoren

Wirkung von HOCl/H_2O_2 auf den pH und Sauerstoffgehalt

HOCl und H_2O_2 wirken im Wasser als starke Oxidationsmittel. Sie fördern die Auflösung und Stabilisierung von pH, Sauerstoff und Mineralien in der Nährlösung, indem sie:

- **Anaerobe Mikrobereiche reduzieren:** Biofilm oder organische Ablagerungen, die sonst Sauerstoff binden oder verbrauchen, werden abgebaut. Dadurch steht den Wurzeln mehr gelöster Sauerstoff zur Verfügung.
- **Reduktion pathogener Mikroorganismen**: HOCl und H_2O_2 wirken desinfizierend und verhindern das Entstehen anaerober Zonen, in denen sich Fäulnisbakterien oder Pilze ansiedeln könnten.
- **Chemische Stabilität verbessern:** Durch die oxidierende Wirkung werden Redox-Prozesse unterstützt, die pH-Schwankungen minimieren und die Löslichkeit empfindlicher Nährstoffe stabilisieren.
- **Sauerstoffaufnahme erhöhen:** Die Kombination aus oxidierenden Mitteln und mechanischer Belüftung ermöglicht es, dass die effektiv nutzbare DO (dissolved oxygen) Werte über das normale physikalische Maximum hinaussteigen können

Optimales Oxidations-Reduktions-Potential (ORP) im RDWC-System

Das Oxidations-Reduktions-Potenzial (ORP) beschreibt, wie stark eine Lösung Elektronen aufnehmen oder abgeben kann. Es zeigt also, wie „oxidativ“ oder „reduzierend“ eine Umgebung ist.

Ein ORP-Wert zwischen **350 und 450 mV** gilt im RDWC-System als optimal, da er das ideale Gleichgewicht zwischen Desinfektion, Sauerstoffverfügbarkeit und chemischer Stabilität schafft.

- **< 300 mV:** anaerob, Risiko für Biofilm und Pathogene
- **350–450 mV:** optimale Oxidationsbalance, sauberes und sauerstoffreiches Wasser
- **> 500 mV:** zu stark oxidativ, kann Wurzeln und Mineralische Verbindungen schädigen

In der Praxis korreliert ein stabiler ORP-Wert von **ca. 380–420 mV** mit einem sauberen, desinfizierten System, in dem HOCl oder H_2O_2 ihre maximale Wirkung entfalten, ohne Überoxidation zu verursachen.

⚠ Wichtiger Sicherheitshinweis: HOCl und H_2O_2 niemals gemeinsam anwenden

Die gleichzeitige Verwendung von Hypochloriger Säure (HOCl) und Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist chemisch instabil und gefährlich. Beide Stoffe sind starke Oxidationsmittel, reagieren jedoch miteinander in einer unkontrollierten Redoxreaktion, die zu Sauerstofffreisetzung und instabilen Zwischenprodukten (z. B. Chlor- oder Hydroxylradikale) führt.

Praxisempfehlung:

HOCl und H_2O_2 niemals gleichzeitig verwenden. Nur abwechselnd, mit Wasserwechsel dazwischen. Niemals im gleichen Reservoir oder Kreislauf kombinieren.

Verwendung von UV-C Klärern im RDWC-System

Ein UV-C Klärer dient im RDWC dazu, Wasser vor der Nährstoffzugabe gezielt zu sterilisieren und von Mikroorganismen zu befreien. Durch die UV-C Strahlung bei 254 nm werden die DNA/RNA von Bakterien, Pilzen und Algen zerstört. Dies verhindert die Entstehung von Biofilmen, reduziert die Pathogenlast und sorgt für ein stabiles, klares Wasser, das die Wurzeln der Pflanzen optimal versorgt.
UV-C Strahlung wirkt ausschließlich auf die Wasseraufbereitung – sie hat keinen direkten positiven Effekt auf Pflanzen, wenn das Wasser bereits Nährstoffe enthält.

Warum UV-C nicht im Betrieb mit Pflanzen oder Nährstoffen verwendet werden sollte
Die direkte Anwendung von UV-C auf wasserlösliche Nährstoffe oder während des Pflanzenbetriebs kann mehrere Probleme verursachen:

• **Chemische Veränderung der Nährstoffe:** UV-C Strahlung kann empfindliche Nährstoffe oxidieren oder zersetzen, z. B. Aminosäuren, Chelate oder organische Zusatzstoffe.

• **Pflanzenschäden:** UV-C Licht kann freie Radikale erzeugen, die bei Anwesenheit von Pflanzenwurzeln zu Stress oder Wurzelschäden führen können.

• **Ineffektivität:** Im trüben Nährwasser kann die UV-C Strahlung nicht effizient wirken, Mikroorganismen werden nur teilweise abgetötet.

Folge: Der Einsatz während des Wachstumsrisikos kann die Wasserqualität verschlechtern und gleichzeitig den Pflanzen schaden, anstatt sie zu schützen.

Richtige Anwendung von UV-C im RDWC

1. **Vorbereitung des Wassers:**
   - Wasser **filtern**, um grobe Partikel zu entfernen, da Schwebstoffe die Strahlung blockieren.
2. **Sterilisation:**
   - UV-C Klärer **nur mit klarem Wasser** betreiben.
   - Lampe in Betrieb nehmen, bis das gesamte Reservoir durch den Klärer gelaufen ist.
3. **Nachbereitung:**
   - Erst nach der UV-C Behandlung die Nährstoffe hinzufügen.
4. **Anwendungszeitpunkte:**
   - **Initiale System Befüllung**: Vor der ersten Nährstoffzugabe.
   - **Jeder Wasserwechsel**: Zur Sicherstellung einer kontinuierlich niedrigen Keimlast.

Praxisempfehlung:

- **Lampe regelmäßig reinigen** und prüfen, um maximale Effizienz zu gewährleisten.
- **UV-C niemals geöffnet betreiben** – Strahlung kann Haut und Augen schädigen.
- **Kontinuierlicher Betrieb im Kreislauf mit Pflanzen oder Nährstofflösung vermeiden**.

Verwendung von Silikat/Kaliumsilikat im RDWC

Da in RDWC-Systemen kein Substrat vorhanden ist, fehlt die natürliche Pufferung gegen pH-Schwankungen und Siliziumquellen aus dem Boden. Kaliumsilikat (K_2SiO_3) übernimmt in diesem Zusammenhang eine doppelte Funktion, als chemischer Stabilisator der Nährlösung und als physiologischer Pflanzenstärker.
Zur Stabilisierung der Nährlösung und zur Vermeidung von Ausfällungen wird Kaliumsilikat grundsätzlich vor allen anderen Nährstoffkomponenten in reinem Wasser gelöst. Dadurch wird die Lösung gepuffert und bleibt chemisch stabil, wenn anschließend Calcium-, Magnesium- oder Phosphatverbindungen zugegeben werden.

Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass:

- kein unlösliches Calciumsilikat entsteht, das Filter, Leitungen oder Düsen verstopfen kann
- die Nährlösung eine Pufferwirkung erhält und pH-Schwankungen abgemildert werden
- das Wasser eine höhere chemische Stabilität gegenüber Säureeinflüssen aufweist
- die Pflanzen Silizium (Si) in ionischer Form aufnehmen können, was Zellwände stärkt und Stressresistenz verbessert

In der Praxis bewährt sich Kaliumsilikat besonders in RDWC-Systemen mit Osmose- oder vollentsalztem Wasser, da es zur anfänglichen Basenstabilisierung beiträgt. Ohne diesen Schritt kann die Nährlösung stark pH-sensitiv reagieren, was zu Ausfällungen oder Schwankungen während der Sauerstoffzufuhr führt. Kaliumsilikat wirkt dem entgegen, indem es eine stabile Pufferbasis schafft und die Löslichkeit empfindlicher Nährstoffe, insbesondere von Mikronährstoffen wie Eisen oder Mangan, verbessert.

Verwendungen von Calcium, Magnesium und CalMag im RDWC

Da Calcium (Ca^{2+}) und Magnesium (Mg^{2+}) im RDWC-System nicht durch ein Substrat gepuffert werden, reagieren sie empfindlich auf pH-Schwankungen und Ionenverschiebungen. Beide Nährstoffe konkurrieren zudem mit Kalium (K^+) um die Aufnahmeplätze an der Wurzeloberfläche.

Zur Sicherstellung einer stabilen Verfügbarkeit und zur Vermeidung von Ausfällungen wird daher der Einsatz von Cal-Mono / Mag-Mono Produkten abgeraten und stattdessen fertige **CalMag-Produkte** (z. B. Calcium-Nitrat + Magnesiumsulfat oder Magnesiumnitrat) empfohlen.

Diese Kombination gewährleistet, dass:

- Calcium und Magnesium in vollständig löslicher, ausgewogener Form vorliegen
- keine spontane Ausfällung als Gips ($CaSO_4$) oder Phosphat erfolgt
- das Cal:Mag-Verhältnis (typischerweise 3:1 – 4:1) konstant bleibt
- Nitrat-Ionen eine leichte pH-Pufferung bewirken und so die chemische Stabilität erhöhen

Besonders bei der Verwendung von **Osmosewasser (0,0 mS)** hat sich CalMag bewährt. Da diesem Wasser die natürliche Härte und damit der Cal/Mag-Puffer fehlt, reagiert der pH-Wert extrem sensibel auf Säuren oder Basen. Durch die gezielte Zugabe von CalMag werden Calcium- und Magnesiumionen eingebracht, die eine **künstliche Pufferkapazität** aufbauen, den pH-Wert stabilisieren und die Löslichkeit anderer Nährstoffe verbessern. Dadurch wird die Gefahr von **Ausfällungen** (insbesondere Calciumphosphat oder Calciumsulfat) deutlich reduziert.

⚠ **Warnhinweis:** CalMag und Kaliumsilikat niemals direkt miteinander oder hintereinander mischen! CalMag und Kaliumsilikat können chemisch reagieren und schwerlösliche Silikate bilden.

Verhalten von Kationen und Anionen in der Nährlösung

Relevante Ionen:

- **Kationen:** Calcium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Kalium (K^{+}), Ammonium (NH_4^{+})
- **Anionen:** Nitrat (NO_3^{-}), Phosphat ($H_2PO_4^{-}$), Sulfat (SO_4^{2-})

Die chemische Stabilität der Nährlösung hängt maßgeblich von der Balance zwischen positiv geladenen Kationen sowie negativ geladenen Anionen wie ab.
Diese Ionen beeinflussen nicht nur die Löslichkeit der Nährstoffe, sondern auch den pH-Wert der Lösung. Pflanzen konsumieren Nährstoffe selektiv auf und geben dabei entweder Wasserstoffionen (H^{+}) oder Hydroxidionen (OH^{-}) an die Lösung ab. Wird bevorzugt eine höhere Menge an Kationen aufgenommen, steigen die OH^{-}-Ionen in der Lösung an, was zu einem pH-Anstieg führt. Im umgekehrten Fall, wenn mehr Anionen wie Nitrat, Phosphat oder Sulfat aufgenommen werden, erhöht sich die Konzentration von H^{+}-Ionen, wodurch der pH-Wert abfällt.

Ein Ungleichgewicht zwischen Kationen und Anionen kann zu pH-Drift führen, die wiederum die chemische Stabilität der Lösung beeinträchtigt und die Löslichkeit wichtiger Nährstoffe verringert. Bei hohen Konzentrationen bestimmter Ionen besteht die Gefahr von Ausfällungen, beispielsweise von Calciumphosphat, Calciumsulfat oder Magnesiumphosphat, was die Nährstoffverfügbarkeit einschränkt. Gleichzeitig kann eine unausgewogene Ionenzusammensetzung zu Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit (EC) führen und innerhalb des Reservoirs lokale Nährstoffungleichgewichte verursachen.

Um die chemische Stabilität der Nährlösung zu sichern, ist es entscheidend, die Gesamtkonzentration aller gelösten Nährstoffe gemäß Rezeptur exakt einzuhalten. Regelmäßige Kontrolle von pH und EC während des gesamten Zyklus ermöglicht, Abweichungen frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren. Ergänzend unterstützen Pufferstoffe wie CalMag oder Kaliumsilikat die Aufrechterhaltung der Löslichkeit kritischer Nährstoffe und fördern eine gleichmäßige Nährstoffaufnahme im gesamten Wurzelbereich.

Antagonismen (Nährstoffblockaden) zwischen Nährstoffen

In der Nährlösung können bestimmte Nährstoffe in einem antagonistischen Verhältnis zueinanderstehen, wodurch die Aufnahme einzelner Ionen durch die Pflanzen gehemmt oder verzögert wird.

Klassische Beispiele sind die Konkurrenz zwischen Calcium, und Magnesium, zwischen Kalium, und Magnesium sowie zwischen Calcium und Phosphat. Werden diese Nährstoffe in einem unausgewogenen Verhältnis zugeführt, kann die Pflanze ein Ion bevorzugt aufnehmen, während die Aufnahme des anderen reduziert wird, was zu lokalen Mangelerscheinungen führt.

Antagonismen betreffen sowohl Kationen als auch Anionen und können zusätzlich die Löslichkeit bestimmter Verbindungen beeinflussen, wodurch Ausfällungen begünstigt werden. Besonders Calcium und Phosphat neigen zur Bildung schwerlöslicher Calciumphosphate, wenn die Konzentrationen nicht korrekt aufeinander abgestimmt sind. Eine sorgfältige Abstimmung der Nährstoffverhältnisse sowie die Einhaltung empfohlener Ca:Mg-, K:Mg- und Ca:P-Ratios hilft, diese Effekte zu minimieren. Regelmäßige Kontrolle von pH, EC und Nährstoffkonzentrationen unterstützt die frühzeitige Erkennung und Korrektur antagonistischer Einflüsse und gewährleistet eine gleichmäßige Versorgung aller Pflanzen.

Verfahren

1. Mischreihenfolge der Nährstoffe im RDWC-System

Die exakte Mischreihenfolge der Nährstoffe ist entscheidend, um chemische Reaktionen, Ausfällungen und pH-Schwankungen zu vermeiden. Eine korrekt durchgeführte Reihenfolge sorgt für eine stabile Nährlösung, gleichmäßige Nährstoffverteilung und optimale Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln.

1.1. Gefiltertes Wasser aufbereiten

Zweck: Die Basis für eine stabile Nährlösung schaffen und pathogene Keime minimieren.

Vorgehensweise:

- Wasser in das Hauptreservoir füllen (RO, VE oder destilliert).
- **UV-C Klärer** zur Entkeimung verwenden, ausschließlich vor Nährstoffzugabe.
- pH auf **6,0 eichen**.

Hinweis: Die Wasserqualität bildet die Grundlage für alle nachfolgenden Schritte. Schwankungen in pH, Härte oder Kontaminationen führen zu Instabilitäten.

1.2. Kaliumsilikat hinzufügen

Zweck: Kaliumsilikat puffert die Lösung, stabilisiert den pH-Wert und liefert Silizium zur Stärkung der Zellwände und Stressresistenz der Pflanzen.

⚠ **Warnhinweis:** Bei der Verwendung von Weichwasser, CalMag zuerst und Silikate zuletzt beimischen.

Dosierung je nach Wachstumsphase:

- Vegetative Phase: 0,15 ml/L
- Stretch: 0,3 ml/L
- Hochblüte: 0,4 ml/L
- Finale Reifung: 0,3 ml/L
- Fade-Out: komplett absetzen

Vorgehensweise:

- Kaliumsilikat in das vorbereitete Wasser geben und gründlich durchwälzen lassen, bis die Lösung klar und homogen ist.
- **5-10 Minuten** einhalten, damit sich die chemische Basis stabilisiert.

1.3. pH erneut Eichen

- Nach der Standzeit pH überprüfen und auf **6,0 eichen**.

1.4. Hauptkomponenten hinzufügen

Zweck: Versorgung mit den zentralen Makro- und Mikronährstoffen.

Vorgehensweise:

- A- und B-Komponenten gemäß Rezeptur zugeben.
- In der Blüte PK ergänzen.

1.5. pH kontrollieren und Eichen

- Nach vollständiger Zugabe der Hauptkomponenten pH prüfen und auf **6,0 eichen**.

1.6. CalMag hinzufügen

Zweck: Calcium- und Magnesiumversorgung, Aufbau der künstlichen Pufferkapazität, Stabilisierung von pH und Löslichkeit anderer Nährstoffe.

Dosierung je nach Wachstumsphase:

- Vegetative Phase: 0,3 ml/L
- Stretch: 0,5 ml/L
- Hochblüte: 0,7 ml/L
- Finale Reifung: 0,5 ml/L
- Fade-Out: komplett absetzen oder durch **Calciumchlorid / Calcium Thiosulfat** ersetzen

⚠ **Warnhinweis:** CalMag niemals direkt nach Kaliumsilikat zugeben. Es muss nach allen Hauptnährstoffen erfolgen, um unlösliche Silikate zu vermeiden.

Wenn man kein Kaliumsilikat verwendet, sollte man bei der Mischreihenfolge entsprechend Kaliumsilikat mit CalMag ersetzen.

1.7. pH erneut kontrollieren und eichen

- Nach CalMag-Zugabe **pH erneut auf 6,0** einstellen, um die Nährstoffstabilität sicherzustellen.

Praxisempfehlungen:

- pH und EC kontinuierlich überwachen.
- Bei Abweichungen in der Konzentration oder pH sofort korrigieren.

1.8. HOCl oder H_2O_2 hinzufügen

Zweck: Kontinuierliche Wasserhygiene, Biofilmreduktion und Stabilisierung der Sauerstoff- und Redoxwerte (ORP). Die Dosierung von HOCl-Produkten ist stark herstellerabhängig und kann zwischen **250–1000 ppm** variieren. Daher sollte stets ein **ORP-Meter** verwendet werden, um den Redoxwert im optimalen Bereich (ca. 350–450 mV) zu halten. Der ORP-Wert muss alle **2–3 Tage durch erneute HOCl-Zugabe** nachjustiert werden. Bei **H_2O_2** ist eine präzise ORP-Kontrolle kaum möglich, da es deutlich schneller zerfällt und keinen stabil messbaren Redoxwert wie HOCl liefert.

H_2O_2 Dosierung je nach Konzentration
Die Dosierung richtet sich nach der Wirkstoffkonzentration des verwendeten Produkts:

- 3 % H_2O_2 (Haushaltsqualität): 3–5 ml/L
- 12 % H_2O_2 (Technische Qualität): 0,8–1,2 ml/L
- 30–35 % H_2O_2 (Konzentrate): Nur in verdünnter Lösung anwenden (1:10 / 1:5 / 1:2)

1.9. Feste Dosiermengen je Wachstumsphase

Wachstumsphase	Kaliumsilikat (ml/L)	CalMag (ml/L)	Hauptdünger A+B (ml/L)	PK (ml/L)	pH-Ziel	ORP (mV)
Wurzel Phase	0,1	–	–	–	6,2	300
Vegetative Phase	0,15	0,3	gemäß Plan	–	6,0	350-450
Stretch / Übergang	0,3	0,5	gemäß Plan	–	5,9	350-450
Hochblüte	0,4	0,7	gemäß Plan	gemäß Plan	5,8	350-450
Finale Reifung	0,15	0,5	gemäß Plan	gemäß Plan	5,6-5,8	350-450
Fade-Out / Flush	–	ersetzen	–	–	5,6-5,8	-

*Für DWC-Betrieb höhere Dosierung anwenden, je Behältergröße: <20l = 70% / >25l = 50% höher dosieren

2. Notfallmaßnahmen - Umgang mit Ausfällungen, pH-Drift und kontaminiertem Wasser

In einem RDWC-System sind **pH-Stabilität** und **chemische Balance** entscheidend für die Gesundheit der Pflanzen. Kleinere Schwankungen sind normal, doch ein echter *pH-Drift* oder sichtbare *Ausfällungen* deuten auf chemische Instabilität oder mikrobiologische Aktivität hin.
Im Folgenden wird erklärt, wie man zwischen normalen Schwankungen und kritischen Abweichungen unterscheidet und wann sofortiges Eingreifen notwendig ist.

2.1 Unterschied zwischen normalen pH-Schwankungen und pH-Drift

Im RDWC-System bewegt sich der optimale Arbeitsbereich der Wurzeln zwischen pH 5,8 und 6,2. Leichte Schwankungen innerhalb dieses Bereichs sind nicht nur unbedenklich, sondern sogar natürlich und vorteilhaft, da unterschiedliche Nährstoffe in leicht unterschiedlichen pH-Zonen optimal verfügbar sind.

Merkmal	Normale pH-Schwankung	Kritischer pH-Drift
Zeitraum	Langsam (0,1–0,4 pH Punkte/Tag)	Schnell (≥ 0,5 pH Punkte innerhalb von 12–24 h)
Richtung	Leichte Absenkung bei aktiver Nährstoffaufnahme	Stetige Absenkung oder Anstieg über mehrere Tage
Ursache	Natürliche Nährstoffaufnahme (v.a. NO_3^-/NH_4^+-Verhältnis)	Chemische Instabilität, Biofilm, CO_2-Eintrag, oxidativer Abbau
EC-Verhalten	Stabil oder leicht sinkend	Meist ansteigend oder stark schwankend
Wasseroberfläche	Klar, keine Blasen oder Schleimhaut	Trüb, Schaumbildung oder schleimige Partikel sichtbar
DO-Wert	Bleibt stets >7,5mg/l	<6,5mg/l, Stetiger Abfall, trotz Maßnahmen keine Messbare Veränderung
ORP-Wert	Baut sich langsam ab, bleibt stets >300mV, Nach-Dosierungen verhalten sich stabil	Rapider Abbau, Nach-Dosierungen bauen sich ungewöhnlich schnell ab

Erkennen in der Praxis:

- Eine *leichte pH-Absenkung* bei stabiler EC zeigt aktive Nährstoffaufnahme, völlig normal.
- Ein *stetiger Abfall oder Anstieg über 6,2 bzw. unter 5,8* weist auf chemische oder mikrobiologische Instabilität hin.
- Ein *schneller pH-Drift (> 0,5/Tag)* signalisiert akuten Handlungsbedarf, da er meist auf pathogene Aktivität, CO_2-Sättigung oder Ausfällungen hinweist.

2.2 Wann und wie man eingreifen sollte

1 Sofortmaßnahmen bei starkem pH-Drift (> 0,5 in 24 h):

- **Wurzeln Prüfen:** Prüfen auf Fäule, Schleim, Verfärbungen, Geruch.
- **Wasserprobe entnehmen:** Prüfen auf Trübung, Partikel, Schleim, Geruch.
- **ORP-Wert messen:** < 300 mV = erhöhte Keimaktivität → Systemdesinfektion nötig.
- **DO-Wert messen:** < 6,5mg/l = erhöhte Mikrobiologische Aktivität.
- **Wasserfilter kontrollieren:** Auf Ablagerung, totes Wurzelmaterial, Schleim, Dreck, etc.
- **NSL ablassen**, System mit **HOCl (300–500 ppm)** oder **H_2O_2 (2 ml/L bei 12%)** spülen.
- System **neu aufsetzen** mit sauberer Nährlösung, pH = 5,8–6,0, ORP > 400 mV.
- ggf. 2-3 Tage wiederholen

2 Maßnahmen bei leichter Drift (0,2–0,4 in 24 h):

- pH vorsichtig nachregeln (nur um 0,1–0,2, schrittweise korrigieren).
- Prüfen, ob sich Temperaturschwankungen, Verdunstung oder hohe Pflanzenaktivität verändert haben.
- ORP beobachten, fällt er unter 350 mV, geringe Menge HOCl nachdosieren.

3 Bei wiederkehrender Drift trotz korrekter Dosierung:

- Schritt 1 Wiederholen für 2-3 Tage.
- SOP-CAN-S1 – Behandlung von Wurzelfäule anwenden.
- Leitungen und Pumpe auf Biofilm prüfen.
- Tank auf Ablagerungen, Rückstände oder Niederschlag kontrollieren.

2.3 Präventive Kontrolle

- **Tägliche Kontrolle:** pH, EC, Temperatur, ORP, DO.
- **Alle 48h:** HOCl-Zugabe zur ORP-Stabilisierung (350–450 mV).
- **Oder alle 24h:** H_2O_2-Zugabe zur System-Sterilisierung.
- **Wöchentliche Kontrolle:** Sichtprüfung der Leitungen, Schläuche und Rückläufe.
- **Nach jedem Nährstoffwechsel:** 15 Minuten Systemumwälzung vor Messung, um Fehleinschätzungen zu vermeiden.

3. Überwachung & Dokumentation

Eine konsequente Überwachung aller relevanten Wasserparameter ist die Grundlage für ein stabiles und reproduzierbares RDWC-System. Nur durch regelmäßige Messungen und eine saubere Dokumentation lassen sich Abweichungen frühzeitig erkennen und gezielt korrigieren.

3.1 Mess- und Dokumentationsroutine im RDWC-System

Parameter	Messintervall	Dokumentationszeitpunkt
pH-Wert	2x Täglich	Nach Dunkel- & Lichtphase
EC-Wert	24h	Nach Dunkelphase
ORP-Wert (Redox)	2x Täglich	Nach Dunkel- & Lichtphase
Temperatur (Nährlösung)	Durchgehend	Nach Dunkel- & Lichtphase
Sauerstoffgehalt (DO)	2x Täglich	Nach Dunkel- & Lichtphase
Optische Kontrolle	Alle 2–3 Tage	Während Lichtphase

3.2 Dokumentation & Protokollführung

Alle Messwerte werden fortlaufend dokumentiert, vorzugsweise in einem **RDWC-Monitoring-Protokoll** (digital oder auf Papier).

Ein vollständiges Protokoll sollte enthalten:

- **Datum & Uhrzeit der Messung**
- **Messwerte**: Temperatur, pH, EC, ORP, DO,
- **Beobachtungen**: Farbe, Geruch, Wurzelzustand, Schaumbildung
- **Korrekturmaßnahmen**: pH-Anpassung, HOCl-Zugabe, Wasserwechsel etc.

Empfohlen wird, wöchentlich einen Überblick über die Werte zu erstellen, um **Trends und Abweichungen** zu erkennen. Bei plötzlichen Schwankungen (z. B. starker pH-Abfall oder EC-Sprung) sollte das Protokoll zur schnellen Ursachenanalyse herangezogen werden.

Praxis-Tipp

Eine grafische Darstellung der Messwerte erleichtert das Erkennen von Mustern. Langfristig bildet diese Dokumentation die **Basis für stabile Systemoptimierungen** und ist ein unverzichtbarer Bestandteil jeder professionellen RDWC-Routine.

RDWC MESSPROTOKOLL.xls